

2 Trabalhos Relacionados

O objetivo deste capítulo é apresentar uma visão geral do estado da arte em relação à questão da governança de sistemas multi-agentes abertos. Serão apresentados diversos trabalhos relacionados a esse assunto, e ao término deste capítulo será apresentada uma seção para discutir e comparar esses trabalhos com o trabalho apresentado nesta dissertação.

2.1 Electronic Institutions – ISLANDER / AMELI

Os autores em [13][14] argumentam que sistemas multi-agentes abertos podem ser projetados e desenvolvidos como instituições eletrônicas (*Electronic Institutions* - EIs). Esta argumentação parte da observação das instituições humanas. As instituições humanas definem interações entre os indivíduos, imprimindo um comportamento social e obrigando seus indivíduos a agirem de acordo com as normas estabelecidas pela instituição. Da mesma forma, as EIs definem um ambiente normativo, estabelecendo os papéis dos participantes da instituição, as interações válidas entre os participantes, e as normas que governam a instituição.

As EIs regulam atividades de diálogos que são múltiplas, distintas, concorrentes e inter-relacionadas. Cada atividade de diálogo pode envolver diferentes grupos de agentes, desempenhando diferentes papéis [13]. Essas atividades de diálogo, também chamadas Cenas (*Scenes*), seguem protocolos de interação bem definidos. Os agentes participantes de uma cena podem mudar ao longo do tempo. Cada cena é especificada através de um grafo direcionado, onde os nós representam os diferentes estados de um diálogo entre os papéis (agentes desempenhando papéis definidos) e os arcos representam a estrutura (remetente, destinatário, conteúdo, entre outros) das mensagens trocadas, além de conterem regras, impondo restrições de acordo com o contexto da cena. Os agentes da aplicação devem interagir seguindo as regras estabelecidas pelas cenas. Atividades mais complexas podem ser especificadas através da formação de redes de cena. Essas redes recebem o nome de

Performative Structures e definem como os agentes podem se movimentar entre as diferentes cenas.

A execução da instituição ocorre com a execução das diversas cenas através da interação entre os agentes. As ações dos agentes fazem com que a execução da instituição evolua. A instituição deve controlar o fluxo dos agentes (que entram e saem), e a execução das cenas de acordo com as normas estabelecidas.

O desenvolvimento de sistemas baseados nessa abordagem é dividido em duas fases: A especificação das EIs e execução das mesmas.

Para a especificação das EIs os autores desenvolveram uma ferramenta para dar suporte a essa atividade chamada ISLANDER. A especificação da EIs é efetuada em um nível macro (aspectos sociais) e não no nível interno dos agentes.

Para a execução das EIs, os autores desenvolveram um *middleware* chamado AMELI, que fornece suporte a implementação das EIs. No AMELI, cada agente admitido na EI é conectado a um agente governador (*Governor*) que media todas as suas interações. Cada agente se comunica apenas como seu governador, que é responsável por verificar as obrigações e permissões do seu agente associado. Para cada mensagem que um agente envia ao seu governador, o governador responde com uma mensagem do tipo: *Agree*, *refuse* ou *unknown*.

O controle de execução das cenas é realizado pelo agente *Scene Manager* e pelos agentes *Governors* de cada agente participante da EI. Todos esses agentes trabalham em conjunto para garantir a boa execução da EI. Conforme os agentes entram nas cenas e interagem, seus governadores e o *Scene Manager* trabalham, avaliando essas interações com as normas especificadas pela EI. Essa avaliação ocorre da seguinte forma: Quando um agente governador recebe uma mensagem do seu agente associado, essa mensagem é encaminhada ao *Scene Manager*, que verifica se esta é válida de acordo com a especificação da cena. Se a mensagem for válida, uma transição é realizada. O *Scene Manager* encaminha a mensagem para o governador do agente destinatário da mensagem, que a encaminha ao seu agente associado (o destinatário final). O *Scene Manager* também atualiza o estado de execução da cena. Por fim, o remetente da mensagem é avisado sobre o sucesso do envio da sua mensagem. Se a mensagem não for válida, o agente remetente é informado sobre a falha de sua requisição.

Regular a interação entre os agentes é o foco desta abordagem. Existem duas questões que devem ser consideradas, portanto, ao avaliar a utilização desta abordagem. A primeira diz respeito à violação da privacidade (exposição e disponibilidade de informações) dos agentes, já que toda mensagem trocada deve ser inspecionada. A segunda diz respeito ao fato de que ações não relacionadas à interação entre os agentes não serão reguladas.

2.2 TuCSoN

TuCSoN é um *framework* que implementa um mecanismo de coordenação dos agentes e controle de acesso aos recursos. Em [2] os agentes interagem através de um meio de coordenação independente chamado *Tuple Centre* (TC). *Tuple Centres* são entidades que possuem a noção de especificação de comportamento. O comportamento em resposta a eventos de comunicação de cada TC pode ser definido de acordo com os requisitos do sistema como uma transição de estado observável após um evento de comunicação. Isso é realizado através da associação de um evento de comunicação a um conjunto de operações computacionais chamado *Reactions*. Cada local (*node*) que possui recursos a serem acessados e cujo controle de acesso é necessário deve possuir TCs para realizar esse controle.

No TuCSoN, toda interação é mediada por *tuple centres* e é representada pela seguinte instrução:

`tc@node?op(tuple)`

- *tc* é o *tuple centre* a quem a solicitação foi direcionada;
- *node* é o local onde o recurso está situado;
- *op* é a operação que o agente deseja realizar;
- *tuple* é o recurso a ser acessado.

Cada evento de comunicação (interação) deve ser tratado de acordo com as políticas de controle de acesso definidas em cada *node*. Cada *node* deve possuir uma matriz de controle de acessos que pode ser lida pelos *tuple centres*.

A matriz é definida como segue abaixo:

$ACM[i,j] ::= P_{i,j}, \forall i \in ID, \forall j \in TC$

- ID é o conjunto de identificadores dos agentes;
- TC é o conjunto de *tuple centres* implementado em um *node*;
- $P_{i,j}$ é a permissão dada ao agente *i* pelo *tuple centre* *j*.

Os *tuple centres* podem se tornar visíveis ou invisíveis aos agentes, e o acesso aos recursos são controlados pelos TCs, através das *reactions* e da

matriz de controle de acessos. É a programação das *reactions* em resposta a um evento de comunicação que, lendo a matriz de controle de acessos, determina a permissão da execução de diferentes operações em um recurso.

Embora nesta abordagem normas possam ser utilizadas para controlar o acesso a recursos, este controle está restrito apenas a recursos que possuem TCs associados.

2.3

Law-Governed Interaction (LGI)

Os autores de [4] apresentam um mecanismo chamado *Law-Governed Interaction* (LGI), que especifica um modo de interação que permite que um grupo de agentes heterogêneos e construídos independentemente interaja, com a certeza de que todos estarão obedecendo as políticas estabelecidas pelo sistema. Para garantir esse objetivo é necessário implementar um coordenador de políticas que garanta que essas políticas serão observadas por todos os agentes submetidos a elas. Este mecanismo é baseado em quatro princípios que seguem:

- **Princípio 1:** Políticas de coordenação para um grupo aberto precisam ser aplicadas. Em se tratando de sistemas abertos, onde agentes podem ser construídos de forma independente, não há garantias de que todos os agentes tenham sido construídos corretamente. Portanto deve haver um mecanismo que garanta o cumprimento de políticas estabelecidas.
- **Princípio 2:** O mecanismo que garante o cumprimento das políticas deve ser descentralizado. Um mecanismo de coordenação de políticas centralizado não é escalável além de representar um ponto de falha para o sistema.
- **Princípio 3:** As políticas de coordenação precisam ser feitas de forma explícita e controladas por um único mecanismo de coordenação. As políticas definidas não devem estar implícitas no código dos agentes participantes.
- **Princípio 4:** Deve ser possível estabelecer as políticas de coordenação de forma incremental, sem afetar a execução dos agentes submetidos a elas.

Para atingir o objetivo proposto neste trabalho, seguindo os princípios definidos anteriormente, os autores definem o conceito \mathcal{L} -Group como uma tupla $\langle \mathcal{L}, \mathcal{A}, \mathcal{CS}, \mathcal{M} \rangle$ onde:

- \mathcal{L} é o conjunto de normas estabelecidas e aceitas pelos membros do grupo;

- \mathcal{A} é o conjunto de agentes que formam o grupo;
- $CS = \{CS_x \mid x \in \mathcal{A}\}$ É o conjunto de estados de um agente x que podem ser controlados;
- \mathcal{M} é o conjunto das mensagens (definidas em \mathcal{L}) que podem ser trocadas pelos agentes membros do grupo.

Além do conceito \mathcal{L} -Group, foram criados agentes confiáveis chamados *Controllers*, responsáveis por garantir o cumprimento das normas. Os *controllers* mediam toda a troca de mensagens entre os agentes membros do grupo. Todo agente x membro do grupo possui um agente *controller*, que mantém o controle sobre o estado CS_x do seu agente associado. Cada agente *controller* possui o conhecimento das normas estabelecidas para o grupo. Quando o agente x deseja enviar uma mensagem m para o agente y , o agente x , deve enviar essa mensagem para o seu *controller* C_x que deverá avaliar a mensagem segundo as normas estabelecidas e o estado CS_x de x . Caso a mensagem esteja de acordo com as normas, ela é enviada para o *controller* de y , C_y . O *controller* C_y então avalia a mensagem segundo as normas estabelecidas e o estado CS_y de y . Caso a mensagem esteja em conformidade, ela é enviada ao agente y . Caso um dos *controllers* não valide a mensagem, ela não será encaminhada ao seu destinatário final.

O LGI é implementado pelo Mooses Toolkit que fornece uma infraestrutura contendo os componentes: *Controller*, *controller server* (que mantém informações sobre *controllers* ativos), entre outros.

Assim como na abordagem apresentada em 2.1, os autores de LGI se propõem a regular a interação entre os agentes, o que também faz com que a privacidade dos agentes seja quebrada e que outros tipos de ações não relacionadas à interação não sejam reguladas. Por outro lado, os princípios 3 e 4 são importantes, mas não foram considerados na abordagem proposta nesta dissertação pelo fato da nossa abordagem não se concentrar na coordenação entre os agentes.

2.4 XMLaw

Em [17], os autores propõem um modelo conceitual para a especificação de leis em sistemas multi-agentes abertos, além de um *middleware* para dar suporte a execução deste modelo. Nesta abordagem, leis são utilizadas como uma abstração para especificar políticas que regulam as interações entre os agentes. A especificação dessas políticas é realizada através de uma linguagem

declarativa baseada em XML, chamada XMLaw. O *middleware* provê suporte a mediação da interação entre os agentes e verifica se essas interações estão de acordo com o cumprimento das leis estabelecidas.

Para os autores de [17], o mecanismo de governança deve interceptar as mensagens trocadas e imprimir o comportamento desejado do sistema. Com isso, o ciclo de vida deste mecanismo deve ser dividido em três atividades de alto nível: (i) A interceptação da mensagem, (ii) a verificação das leis e (iii) o redirecionamento da mensagem. Na primeira atividade o mecanismo deve interceptar as mensagens trocadas entre os agentes. Na segunda atividade, o mecanismo deve interpretar a especificação das leis e verificar se a mensagem interceptada está em conformidade com esta especificação. E na terceira atividade, que só é executada caso a mensagem esteja em conformidade com as leis, a mensagem é encaminhada seu destinatário.

O modelo conceitual proposto é composto por elementos, apresentados abaixo, que permitem representar os aspectos da interação entre os agentes [5]:

- **LawOrganization:** Representa o conjunto de leis estabelecidas em um organização multi-agente;
- **Cenas:** Permitem agrupar um conjunto de interações dos agentes e especificam os agentes e papéis de agentes que participam desses conjuntos de interações;
- **Normas:** Determinam obrigações, permissões e proibições em relação à troca de mensagens entre os agentes;
- **Relógios:** Controlam o aspecto temporal das interações, permitindo que determinado comportamento seja válido somente por um período de tempo.
- **Ações:** Permitem implementar código de recuperação automática do sistema no caso de falhas.
- **Protocolos:** Determinam as alternativas de conversão entre os agentes.
- **Restrições:** Permitem a definição de regras e respectivas verificações no conteúdo das mensagens trocadas.

Assim como em 2.1 e 2.3 a abordagem proposta nesta seção visa controlar o comportamento dos agentes apenas por meio do controle e da verificação das mensagens trocadas entre eles, incorrendo portanto, nos mesmos problemas citados em 2.1 e 2.3. Porém, diferente de 2.1, esta abordagem considera aspectos temporais relativos às normas.

2.5 Implementing Norms in Multiagent Systems

O foco do trabalho apresentado em [15] é a implementação das normas sob o ponto de vista da instituição. Este trabalho é uma continuação de um trabalho sobre especificação e formalização de normas, realizado em [32]. Os autores de [15] propõem um conjunto de diretrizes e guias de implementação que devem ser utilizados para a implementação da verificação do cumprimento de normas e que têm como base o *framework* ISLANDER, apresentado na seção 2.1. Eles afirmam que a implementação das normas deve considerar : (i) como o comportamento dos agentes é afetado pelas normas (perspectiva do agente), apesar deste não ser o foco do trabalho, e (ii) como a instituição (o sistema) deve garantir que as normas sejam cumpridas (perspectiva da instituição), como verificar que normas estão ativas, como detectar a violação de normas ativas, e como tratar a violação das normas ativas. O objetivo deste trabalho é responder as considerações em (ii).

A abordagem proposta pelos autores assume que (i) as normas podem ser violadas pelos agentes (para garantir a autonomia dos mesmos) e que as violações devem ser tratadas pela instituição através de mecanismos de violação e de sanção e (ii) sob o ponto de vista da instituição, o estado interno dos agentes não é observável nem controlável, conseqüentemente, não há como evitar que ações proibidas façam parte de seu conjunto de objetivos, tão pouco como impor que ações que sejam obrigatórias também estejam em sua lista de objetivos a serem atingidos. Sendo assim, eles propõem que o mecanismo de aplicação de normas (mecanismo de governança) controle o comportamento dos agentes através da verificação de mensagens (troçadas entre os agentes) que sejam públicas e de ações (executadas pelos agentes) que sejam visíveis.

Por fim, os autores introduzem uma definição da descrição de normas descrita na tabela 1 e propõem uma classificação das normas, além de guias de implementação para a verificação do cumprimento e aplicação das normas, de acordo com essa classificação.

norm :=	Norm_condition	Representa uma obrigação, permissão ou proibição de uma determinada ação para um determinado agente ou grupo de agentes;
	violation_condition	Basicamente uma negação da condição da norma;
	detection_mechanism	Plano de detecção de violações que determina um conjunto de ações para detectar uma

	violação;
sanction	Plano de sanção que determina um conjunto de ações para punir o infrator;
repairs	Plano de recuperação que contém um conjunto de ações para recuperar o sistema da violação e recolocá-lo no seu curso normal.

Tabela 1. Definição da descrição da norma

O trabalho apresentado nesta seção apresenta alguns conceitos utilizados na abordagem proposta nesta dissertação como o fato dos estados internos dos agentes não serem observáveis, nem controláveis e a possibilidade de regras poderem ser violadas. Porém, nesta abordagem, a aplicação de normas só pode ser realizada sobre a troca de mensagens públicas e sobre ações visíveis do ponto de vista da instituição, como afirmado pelos autores. Entretanto, em sistemas multi-agentes abertos, com agentes heterogêneos e projetados de forma independente, podem existir mensagens que não são públicas e que só serão percebidas pelos agentes remetentes e destinatários. Além disso, execuções de algumas ações podem não ser visíveis pela instituição e só serão notadas pelo próprio agente que as executa ou por agentes que sofrem influência das consequências da execução dessas ações. Esses dois últimos aspectos fazem com que certos comportamentos dos agentes não sejam regulados pelo mecanismo de aplicação de normas proposto.

2.6 Discussão

Os trabalhos apresentados ao longo deste capítulo serviram como fonte de inspiração para o trabalho que será apresentado nesta dissertação. Porém, o foco do mecanismo de governança proposto nesta dissertação não está apenas na interação entre os agentes, como nos trabalhos das sessões 2.1, 2.3 e 2.4. O foco deste trabalho é apresentar um mecanismo de governança que regule não só mensagens trocadas entre os agentes de uma aplicação, mas também as demais ações que eles podem executar. Esse mecanismo será baseado na percepção que os próprios agentes da aplicação possuem sobre o ambiente em que eles estão inseridos, ampliando o controle sobre o comportamento desses agentes. Além das mensagens públicas, reguladas pelas propostas de todos os trabalhos apresentados, e das ações visíveis reguladas pelas propostas dos trabalhos apresentados nas sessões 2.2 e 2.5, é possível regular também ações que não visíveis *a priori*, mas são perceptíveis pelos agentes que sofrem as consequências de suas execuções.

Entretanto, alguns dos trabalhos relacionados apresentados possuem conceitos importantes que ainda não foram desenvolvidos neste trabalho. A formalização da especificação das normas, apresentado pelo trabalho da seção 2.5, e a representação explícita das normas, fazendo com que as mesmas não sejam codificadas nos agentes, apresentada nos trabalhos das sessões 2.3 e 2.4, são dois aspectos que devem ser considerados nos trabalhos futuros.